

## 林冠截留降雨研究指标的探讨

宋丹丹,王刚,刁艳芳,范世香\*

山东农业大学水利土木工程学院, 山东 泰安 271018

**摘要:** 在研究林冠截留降雨问题中, 过去通常采用林冠截留量和截留率指标, 最近又提出了林冠截留容量指标。本文结合贡嘎山峨眉冷杉林截留降雨资料对林冠截留容量的概念和确定方法进行阐述, 同时对三个指标的特点进行对比, 对比结果表明采用截留容量指标是合理且可行的, 此外截留容量不仅可以充分揭示林冠对降雨截留作用的大小, 而且可以满足在不同林分之间进行比较的需要。同时, 截留容量与降雨量的关系可以用函数公式表达, 其中的参数反映了林冠特征。

**关键词:** 降雨截留; 截留率; 截留容量

**中图分类号:** P426.62

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)01-0077-06

## Discussion on Indexes of Rainfall Interception by Forest Canopy

SONG Dan-dan, WANG Gang, DIAO Yan-fang, FAN Shi-xiang\*

College of Water Resources and Civil Engineering/Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

**Abstract:** When we study on the problem of forest canopy intercepting rainfall, the canopy interception and interception percentage used to be the index and the canopy interception capacity is proposed recently. Combined with the rainfall interception data of *Abies fabri* forest on Gongga mountain, we describe the concept of capacity of canopy interception and method to measure the capacity of canopy interception approximately. At the same time, we compare the features of three indexes and the results showed that the interception capacity as the index is reasonable and feasible and the interception capacity not only can fully reveal the ability of rainfall interception by forest canopy but also can be used to compare the abilities of different forest-stands. At the same time, the relationship between interception capacity and rainfall can be expressed by function formula, whose parameters can reflect the characteristics of canopies.

**Keywords:** Rainfall interception; interception percentage; interception capacity

林冠对降雨的截留作用, 首先表现为降雨在数量上进行了第一次再分配, 减少了到达地面的有效雨量。其次, 通过林冠对降雨的截留作用, 减小了雨滴的动能, 从而削弱雨水对地表的冲击, 减少水土流失。再者, 林冠通过截留降水, 可以调节空气温度及湿度。由此可见, 林冠对降雨的截留作用不仅具有重要的水文学意义, 而且还具有重要的生态学意义。因此, 林冠截留降雨问题一直受到人们的关注, 长期以来国内外学者对林冠的截留作用进行了大量的试验研究<sup>[1-11]</sup>。

不同林分之间林冠对降雨的截留作用的比较可以为林分种植、防洪防涝等提供科学依据, 历来是林冠截留研究的重点。钱金平等<sup>[12]</sup>取林冠截留量的平均值对太行山油松和侧柏的林冠截留作用进行比较, 发现油松林冠对降雨的截留作用大于侧柏的; 宋吉红等<sup>[13]</sup>通过比较缙云山三种林分的林冠截留率发现三种林分林冠对降雨的截留作用的大小为针阔混交林的 > 常绿阔叶林 > 楠竹林; 李佳等对北京密云水库油松和刺槐的林冠截留量和截留率进行对比, 得到油松对降雨的截留作用大于刺槐<sup>[14]</sup>; 杜子贤等<sup>[15]</sup>比较了闽江上游建瓯市的木荷和杉木的截留量和截留率, 认为木荷对降雨的截留作用大于杉木的。由于林冠截留受气象因素影响较大, 所以研究不同林分林冠对降雨的截留作用时会受到很大限制, 只能选取相距较近的若干林分。

在研究林冠截留降雨问题中, 降雨量是主导因素, 所以, 人们经常探讨林冠截留与降雨量的关系。目前, 常用的林冠截留指标主要有截留量(实测值)与截留率, 近年来又提出了林冠截留容量指标<sup>[9]</sup>。以下针对这些指标并结合引用文献提供的的数据资料进行讨论。

### 1 林冠截留量

**收稿日期:** 2015-01-10

**修回日期:** 2015-03-11

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(41202174)

**作者简介:** 宋丹丹(1989-),女,硕士,研究方向:生态水文. E-mail:1012254067@qq.com

**\*通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:fsx1016@163.com

林冠截留量一般是指实际观测值，可以根据一场降雨实测的林上雨量与林下雨量之差计算。实测时，通常根据林上雨量减去林内穿透雨量及树干径流量，即得林冠截留量。例如，根据文献[16]提供的数据资料，可以描绘出截留量与降雨量的关系，如图 1 所示的散状点据。

从图中可以看出，林冠截留量与降雨量呈现正相关，符合林冠截留降雨的一般规律，但是在一般情况下，这种相关性大多都比较微弱。分析其原因，首先是由于降雨期间伴随的气象因素（称为环境条件）对截留量的影响非常大，如降雨强度、风速等，因此，在雨期不同的气象条件下，即使雨量相同而截留量也相差很大。例如，雨强大，树冠枝叶受的冲击大，截留量就小；反之也然；风速大，就会将附着在枝叶表面的雨水吹落，截留量就小；反之也然。其次，林冠截留量还受到雨前枝叶干湿程度（称为初始条件）的影响，如果雨前枝叶比较湿润，那么林冠截留量就会偏小；反之也然。

另外，从图中还可看出，除非环境条件和初始条件都相同，否则，用这种散点图很难反映林冠对降雨实际截留作用的大小，也难以在不同林分之间进行林冠截留作用的比较。尤其是林分之间相距很远时，每次降雨的环境条件和初始条件相差很大，更没有可比性。

为了克服散点图的缺陷，以便建立截留量与降雨量之间的相关关系，以往的研究还常常采用平均的方法点绘截留量与降雨的相关图，方法是：在实测降雨量范围内，将雨量分成若干级，分别统计每一级的平均实测雨量和平均实测截留量，用平均值绘出两者的关系。例如，根据文献[16]资料，做出的这种平均关系如图 2 所示，其基本规律是截留量随着降雨量的增加而增加。虽然这些平均关系大大改善了截留量与降雨量的相关性，而且也趋于单一，但是这种方法过于概化，只能反映两者之间的大致情况，不足以揭示林冠截留降雨的作用大小。

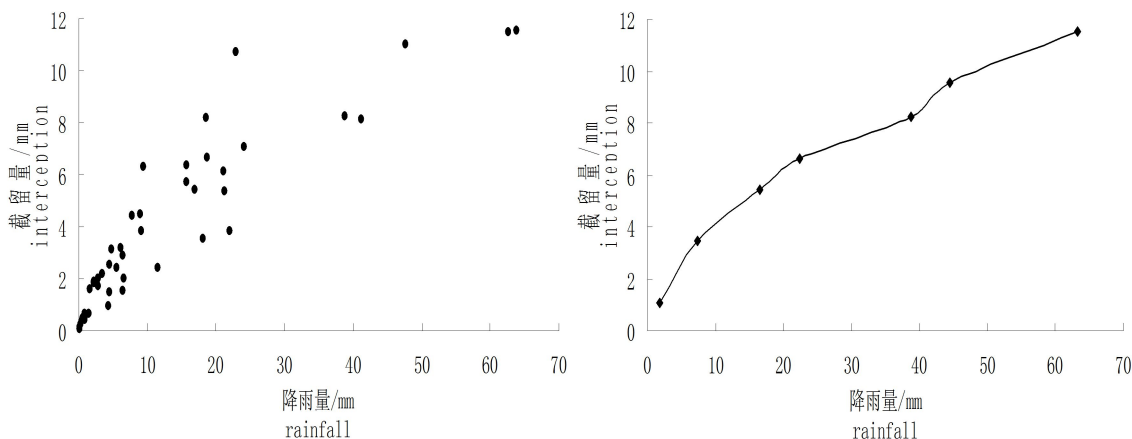


图 1 贡嘎山峨眉冷杉林林冠截留量与降雨量的关系 图 2 贡嘎山峨眉冷杉林林冠截留量与降雨量的平均关系  
Fig.1 Relationship between rainfall and canopy interception Fig.2 Average relationship between rainfall and canopy interception in *Abies fabri* of Gongga Mountain

## 2 林冠截留率

林冠截留率是截留量的相对值，即一场降雨的实际截留量与降雨量的比值，用%表示。例如，根据文献[16]提供的数据资料，可以描绘出截留率与降雨量的关系，如图 3 所示的散状点据。

因为截留率是截留量的相对值，产生这些散点据的原因与截留量是相同的，因此在一般情况下，这种相关性大多也比较微弱。

如果也点绘出截留率与降雨量的平均关系，如图 4 所示，截留率是随着降雨量的增加而减小的，这是由于当降雨量较小时，截留量虽然也较小，但相对值却很大，有时高达 95%以上。当降雨量增加时，虽然截留量也增加，但相对值却逐渐变小，尤其是当降雨充分大时，截留量达到饱和而稳定，但截留率却仍在下降。与截留量情况一样，虽然这种平均关系大大改善了截留率与降雨量的相关性，而且关系也趋于单一，但是这种方法也同样是过于概化，也只能反映两者之间的大致情况。

正如分析截留量与降雨量的关系那样，由于环境条件和初始条件的影响，采用截留率指标也难以真实反映林冠截留作用的大小，这是因为影响因素太多，也太复杂，如果不是在同一条件下，截

留率指标也没有可比性,尤其是林分之间相距很远更是如此。

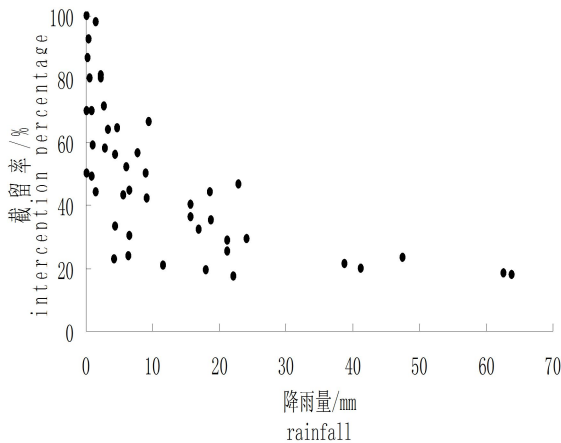


图 3 贡嘎山峨眉冷杉林林冠截留率与降雨量的关系  
 Fig.3 Relationship between rainfall and canopy interception percentage in *Abies fabri* of Gongga Mountain

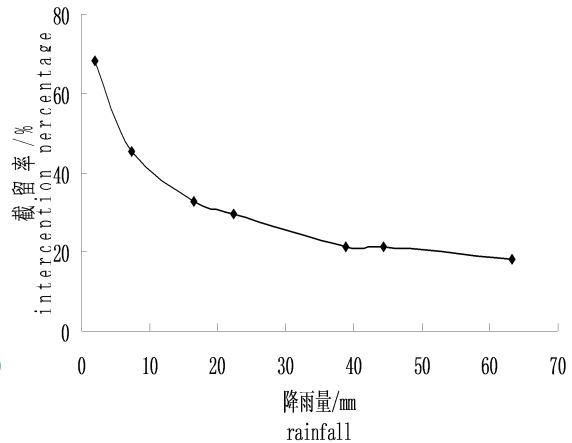


图 4 贡嘎山峨眉冷杉林林冠截留率与降雨量的平均关系  
 Fig.4 Average relationship between rainfall and canopy interception percentage in *Abies fabri* of Gongga Mountain

### 3 林冠截留容量

#### 3.1 基本概念

林冠截留容量是指在某一雨量下,林冠对降雨截留的最大值,它揭示的是林冠对某一降雨量的截留潜力。对于特定林分来说,其本身特征(如树种组成、树龄、冠层厚度及郁闭度等)可以认为是稳定少变的。为了克服前述两种指标的缺陷,可以消除环境条件和初始条件的影响,即考虑一种比较理想的情况:即降雨强度很小、无风且雨前枝叶十分干燥的条件。这样,对某一林分来说,只要雨量相同,那么截留量应该是唯一的,不会出现差异,而且取得最大值。进一步说,林冠截留容量与降雨量应该呈单值函数关系,而且这种关系具有唯一性。因此,可以把林冠截留容量定义为“理想状态下的截留量”<sup>[9]</sup>,显然,这种理想状态是指雨强较小、无风且雨前枝叶十分干燥,因此,截留容量既不受初始条件的影响,也不受环境条件的影响。

如果在图 1 中,按照散状点据的分布趋势,描出这些点据的上包线而得到一条光滑的曲线,这条光滑曲线就可以认为是基本上消除了其他因素干扰后的林冠截留容量与降雨量的关系,如图 5 中的实线所示。由图可知,当降雨量增加时,截留容量也增加,而当降雨量充分大时,截留容量达到极限值,不再随降雨量增加而增加,这一极限值称为饱和截留量(过去也曾称为截留容量)。很明显,采用实测点据上包线确定截留容量是一种近似方法,其实质就是取了相同雨量下的最大观测值,这样就将雨强、风速及枝叶湿润度的影响程度降到了最小。但是用这条光滑曲线近似代表截留容量与降雨量的关系,其精度与观测资料的多少有关,如果观测次数越多,捕获到的理想条件下的截留容量信息越丰富,那么结果就越可靠,精度也就越高。

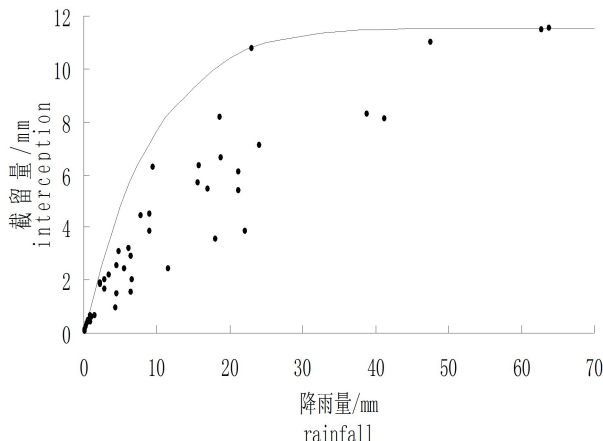


图 5 贡嘎山峨眉冷杉林冠截留容量与降雨量的关系  
 Fig.5 Relationship between rainfall and canopy interception capacity in *Abies fabri* of Gongga Mountain

对于特定的林分,林冠截留容量仅与降雨量有关,降雨量不同,截留容量也不同,而且截留容量与降雨量之间存在唯一的单值关系。这种关系仅与林冠特征有关,能充分揭示林分自身特征对降雨的截留潜力,而排除了环境条件和初始条件的影响。

截留容量作为林冠对降雨截留作用的一个特征指标是客观存在的,因此相对于林冠截留量和林冠截留率来说,用林冠截留容量指标来评价林冠截留作用的大小,更切合实际。

### 3.2 截留容量的应用

截留容量指标的最大优点是,它既不受地域条件限制,也不受具体降雨事件的限制,可以在任意林分之间进行截留作用大小的比较或评价,以下取三个实例加以阐述。

实例一概况及观测方法<sup>[16]</sup>:

试验区位于四川省境内的贡嘎山东坡黄崩溜沟流域,东经 102°00'5" 北纬 29°34'40", 海拔 3000 m。气温年变化和日变化都比较缓和,年平均气温 3.9℃,降水比较充沛,年降水量为 1937.5 mm。实验区面积 522 hm<sup>2</sup>,树种组成为林龄大于 150 年的峨眉冷杉过熟林,密度 209 株/hm<sup>2</sup>,平均高 31.86 m,胸径 50.78 cm,郁闭度 0.7,森林的突出特点是林内的空中层片较发达。

其林冠截留量为林外降雨量与林内降雨量的差值。林外降雨量由贡嘎山高山气象站标准气象观测场内的 AMS-2 自动气象系统进行观测。林内降雨量是在试验区内选择有代表性的地段,设置 10 m×100 m 观测样带,在每个样方的四个角上布设用铁丝和塑料袋自制直径为 20 cm 的简易雨量采集器进行观测,然后取每个样方四角上的林内降雨量的平均值,作为此样方内的林内降雨量。树干径流量忽略不计。

实例二概况及观测方法<sup>[17]</sup>:

试验区位于北京市密云县翁溪庄水资源保护林试验站和林业站,地处密云水库西岸水源保护林一、二级保护区内,北纬 40°29'50"~40°29'54",东经 116°48'39"~116°48'44",海拔约 210 m,坡向为北偏东 40°,坡度为 32°。属于暖温带半湿润季风型大陆性气候,年平均气温 10.8℃,年平均降雨量为 699.1 mm,年际和年内变幅大,86%集中在 6 至 9 月份,多年平均水面蒸发量为 1115.1 mm。树种组成为油松纯林,林相整齐,属同龄林,林龄为 39 年生,郁闭度为 0.85,林下灌木较少。

其林冠截留量为林外降雨量减去林内降雨量与树干径流量之和的差值。林外降雨量采用美国 HOBO 小型自动气象站自动记录的降雨量,同时在林外 5~10 m 处布设雨量筒对照。在试验区内随机布设 10 个雨量筒,每次降雨后用雨量杯来计算林内降雨量;树干径流量测定采用收集槽法,在选好的树干上将粗糙不平的树皮修平,将直径为 3.0 mm 的聚乙烯塑料管剖开后沿树干周围呈螺旋状固定在树干上,至少保证塑料管沿树干环绕 2 周以上,塑料管下端接容器承接树干径流,及时测定容器中收集的水量。

实例三概况及观测方法<sup>[18]</sup>:

试验区位于内蒙古大兴安岭落叶松林生态系统定位研究站,地处大兴安岭西北坡根河上游,北纬 50°49'~50°51',东经 121°30'~121°31',海拔在 810 m 至 116 m 之间。该区面积约 1.1×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,属于寒温带湿润气候,平均气温 -5.4℃,年降水量 450~550 mm,多集中在 7、8 月份,占总降雨量的 60%。主要树种为兴安落叶松,其面积占总面积的 79%。树高 8.7~22.7 m,胸径 6.6~33.9 cm,林龄最大在 160 年左右,郁闭度 0.8。

其林冠截留量也为林外降雨量与林内降雨量的差值。林外雨量的测定是在林外空地上,设置 2 个长 3 m、上口宽 20 cm、三角形尖底的槽式受雨器并将其出水口连接电脑降雨量记录仪,同时在大兴安岭森林生态站院内用标准雨量筒测量进行对照。林内雨量的测定,在实验区水量平衡场标准地中,随机布设 4 个与林外规格相同的槽式受雨器并连接电脑降雨量记录仪进行测定,槽式受雨器高出林地 70 cm。树干径流量忽略不计。

按照三个实例的实测资料,首先将三种林分的截留量与降雨量点绘关系,并描出其上包线(如图 5 中的实线所示,其它两种林分的散点图从略),就得到截留容量与降雨量的关系,再将三种林分的关系绘在同一张图上,如图 6 所示,可以更清楚地看到它们之间的差别,这种差别不仅表现出三

者之间饱和截留量的不同,而且在不同的雨量级,截留容量也是不同的。尽管三个实例相距遥远,但是这种差别的实质揭示了三种林分对降雨截留的不同效果,即它们对降雨的截留作用大小依次为:峨嵋冷杉林>油松林>落叶松林。

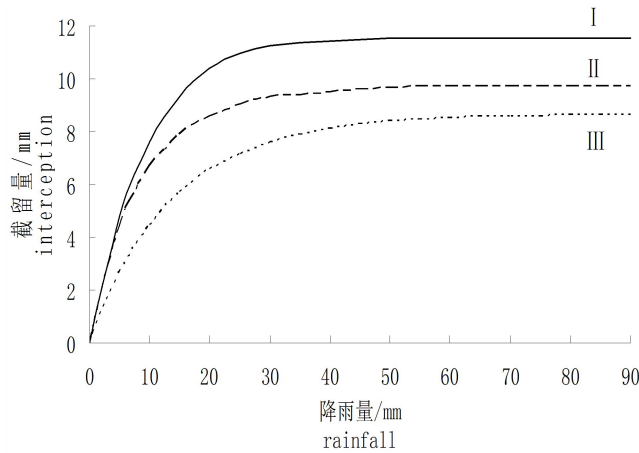


图 6 三种不同林分对降雨截留作用的比较

I. 贡嘎山峨眉冷杉林; II. 密云水库油松林; III. 大兴安岭落叶松林

Fig.6 Comparison of ability of rainfall interception in three different stands

I. *Abies fabri* of Gongga Mountain; II. *Pinus tabulaeformis* of Miyun reservoir; III. *Larix gmelinii* of Greater Xing'an Mountains

根据图 6 可知,截留容量的一般规律是:当降雨量较小时,随着降雨量的增加,截留容量增加较快,当降雨量较大时,随着降雨量的增加,截留容量增加较慢。当降雨量充分大时,截留容量基本趋于稳定而达到极限值(饱和截留量)。但是由于林分特征的不同,在各种不同雨量级下,每种林分截留容量的取值是不同的,所以很方便地比较出各种林分对降雨截留作用的大小。

截留容量指标的另一个优点是,可以用公式对曲线进行拟合,并且林冠对降雨的截留作用可以通过公式中的参数来体现,即:

$$I_m = I_0 [1 - \exp(-kP)] \quad (1)$$

式中,  $I_m$  为林冠截留容量, mm;  $p$  为降雨量, mm;  $I_0$  为林冠饱和截留量, mm;  $k$  为反映林冠枝叶分布均匀性的参数。

在三条曲线上分别取若干点进行回归分析计算得到下列结果:

$$(1) \text{ 贡嘎山峨眉冷杉林: } I_m = 11.55[1 - \exp(-0.12P)] \quad (n=15, r=0.999) \quad (2)$$

$$(2) \text{ 密云水库油松林: } I_m = 9.71[1 - \exp(-0.12P)] \quad (n=21, r=0.999) \quad (3)$$

$$(3) \text{ 大兴安岭落叶松林: } I_m = 8.64[1 - \exp(-0.07P)] \quad (n=12, r=0.999) \quad (4)$$

三个公式的  $r$  值均为 0.999, 近似于 1, 表明林冠截留容量的计算值与实测值基本一致, 因此说明用以上公式对三种林分的截留容量曲线进行拟合效果较好。

以上公式表明, 贡嘎山峨眉冷杉林的饱和截留量最大, 为 11.55 mm; 密云水库油松林次之, 为 9.71 mm; 大兴安岭落叶松林最小, 为 8.64 mm。

## 4 讨论

首先对于不同的林分林冠截留降雨的基本规律是一致的, 本文对材料[16]的数据进行分析, 描绘其三个指标与降雨量的关系图, 仅用于分析其一般规律, 更加形象的对三种指标的特点进行讨论。

其次林冠截留机制较为复杂, 林冠实际截留量和截留率受气象因素影响非常大, 相距较远的林分之间无法进行比较, 截留容量却是客观存在的, 不受环境条件和初始条件的影响, 因此可以用林冠截留容量为指标在任意若干林分之间进行比较。但是林冠截留容量公式中两个参数与林冠特征参数之间的关系尚不明确。如果确定两类参数之间的关系, 就可以通过林冠特征参数计算出无实测资料的林分的林冠截留容量, 确定其林冠对降雨截留作用的大小。因此进一步探讨林冠截留容量公式中的两参数与林冠特征参数之间的关系, 可以使得林冠截留容量拥有更加广泛的应用前景。

## 5 结论

(1) 林冠实际截留量和截留率指标, 由于受多因素(即环境条件和初始条件)影响, 难以反映出林冠对降雨截留作用大小, 尤其是在对相距较远的不同林分之间进行比较时, 将会更加困难。

(2) 林冠截留容量指标反映的是林冠对降雨截留潜力, 它是客观存在的, 不受环境条件和初始条件的影响, 仅与降雨量有关。它不仅可以揭示出不同降雨量条件下, 林冠对降雨截留作用的大小, 还可以用以评价不同森林类型对降雨截留作用, 而且不受地域和具体降雨事件的影响, 因此在研究林冠截留降雨问题中, 是一个比较合适的指标。

(3) 在野外观测条件下, 林冠截留容量的近似确定方法简单, 便于操作。虽然采用这种指标的前提是有一定数量的观测资料, 才能够保证其精度, 但一般的林冠截留试验都会获得较多的资料, 能够满足研究需要。

(4) 林冠截留容量与降雨量的关系可以用数学函数来表达, 而且拟合度都很好。在比较不同林分对降雨截留作用大小时, 可以体现在公式的参数取值上, 即参数  $I_0$  和  $k$  随林分不同而不同。

### 参考文献

- [1] 中野秀章著(日).森林水文学[M].李云森译.北京:中国林业出版社,1983
- [2] 刘世荣.中国森林生态系统水文生态功能规律[M].北京:中国林业出版社,1996
- [3] 王爱娟,章文波.林冠截留降雨研究综述[J].水土保持研究,2009,16(4):55-59
- [4] 陈引珍,何凡,张洪江.缙云山区影响林冠截留量因素的初步分析[J].中国水土保持科学,2005,3(3):69-72
- [5] 谢刚,夏玉芳,郝静,等.不同林龄香椿对林冠截留雨水的影响[J].贵州农业科学,2013,41(1):153-157
- [6] 梁文俊,丁国栋,臧荫桐,等.华北土石山区油松林对降雨再分配的影响[J].水土保持研究,2012,19(4):77-80
- [7] 陈健果,方秦华,胡宏友,等.季风气候下林冠降雨初次分配特征及其主效驱动因子分析[J].福建林业科技,2013,40(4):35-40
- [8] 范世香,高雁,程银才,等.林冠对降雨截留能力的研究[J].地理科学,2007,27(2):200-204
- [9] 高雁,宋丹丹,程银才,等.雪松对降雨截留容量的实验研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(1):160-162
- [10] 王艳红,宋维峰,李财金.不同森林类型林冠截留效应研究[J].亚热带水土保持,2008,20(3):5-10
- [11] 吕瑜良,刘世荣,孙鹏森,等.川西亚高山不同暗针叶林群落类型的冠层降水截留特征[J].应用生态学报,2007,18(11):2398-2405
- [12] 钱金平,王仁德,白洁,等.太行山区不同人工林林冠截留降水的比较研究[J].水土保持通报,2012,32(4):164-167
- [13] 宋吉红,张洪江,孙超,等.缙云山自然保护区不同森林类型林冠的截留作用[J].中国水土保持科学,2008,6(3):71-75
- [14] 李佳,饶良懿,鲁绍伟,等.北京密云油松与刺槐林降雨再分配过程研究[J].广东农业科学,2012(12):169-173
- [15] 杜紫贤,韩永刚,谢锦升.木荷与杉木人工林林冠截留初步探讨[J].亚热带水土保持,2007,19(2):5-9
- [16] 程根伟,余新晓,赵玉涛,等.山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M].北京:科学出版社,2004:55-93
- [17] 鲁绍伟,杨新兵,陈丽华,等.华北土石山区典型人工林耗水规律研究[M].北京:中国林业出版社,2008:19-103
- [18] 周梅.大兴安岭森林生态系统水文规律研究[M].北京:中国科学技术出版社,1985:28-36